

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-527117

(P2004-527117A)

(43) 公表日 平成16年9月2日(2004.9.2)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/3085

F I .

H01L 21/302 I 03

テーマコード (参考)

5F004

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 54 頁)

(21) 出願番号 特願2002-575595 (P2002-575595)  
 (86) (22) 出願日 平成14年3月25日 (2002. 3. 25)  
 (85) 優先文提出日 平成15年9月24日 (2003. 9. 24)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/009073  
 (87) 国際公開番号 WO2002/077589  
 (87) 国際公開日 平成14年10月3日 (2002. 10. 3)  
 (31) 優先権主張番号 60/277, 981  
 (32) 優先日 平成13年3月23日 (2001. 3. 23)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 000219967  
 東京エレクトロン株式会社  
 東京都港区赤坂五丁目3番6号  
 (74) 代理人 100058479  
 弁理士 鈴江 武彦  
 (74) 代理人 100091351  
 弁理士 河野 哲  
 (74) 代理人 100088683  
 弁理士 中村 誠  
 (74) 代理人 100084618  
 弁理士 村松 貞男  
 (74) 代理人 100092196  
 弁理士 橋本 良郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 部分最小自乗を使用したエンドポイント検知方法と装置

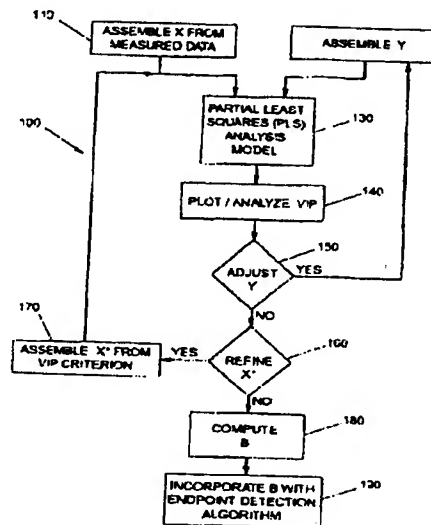
## (57) 【要約】

## 【課題】

エッチングリアクタ内のフィーチャエッチング完了を検知する装置と方法。

## 【解決手段】

第1の記録されたデータマトリクス(110)を形成するために第1のエッチングプロセスに関する最初に測定されたデータを記録し、エッチングプロセス用に目標エンドポイントデータを使用して第1のエンドポイント信号マトリクスをアセンブルし、第1の記録されたデータマトリクスをリファインするために第1の記録されたデータマトリクスと第1のエンドポイント信号マトリクス上の部分最小自乗(130)を達成し、リファインされ記録されたデータマトリクスと第1のエンドポイント信号マトリクスに基づいて相関関係マトリクス(180)を算出する。第2の記録されたデータマトリクスを形成するための第2のエッチングプロセスを達成する。相関関係マトリクスと第2の記録されたデータマトリクスは第2のエッチングプロセスのエンドポイントの達成の決定用に解析される。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

フィーチャエッチング完了を検知する方法であって、この方法は：  
 相関関係マトリクスを決定するステップを備え、このステップは；  
 第 1 の記録されたデータマトリクスを形成するために連続した時間間隔に  
 わたって第 1 のエッチングプロセスに関する最初に測定されたデータを記録  
 し、

特定のエッチングプロセス用に目標エンドポイントデータを使用して第 1  
 のエンドポイント信号マトリクスをアセンブルし、

第 1 の記録されたデータマトリクスをリファインするために第 1 の記録さ  
 れたデータマトリクスと第 1 のエンドポイント信号マトリクス上の部分最小  
 自乗解析を達成し、また

リファインされ記録されたデータマトリクスと第 1 のエンドポイント信号  
 マトリクスに基づいて相関関係マトリクスを算出すること、  
 によって行なわれ；また

第 2 の記録されたデータマトリクスを形成するための第 2 のエッチングプロセスを達成す  
 るステップを備えていて、相関関係マトリクスと第 2 の記録されたデータマトリクスは、  
 第 2 のエッチングプロセスのエンドポイントが達成されたかどうかを決定するために解析  
 される方法。

## 【請求項 2】

前記部分最小自乗解析を達成するステップは：

第 1 の測定されたデータの第 1 のエンドポイント信号マトリクスに影響するように規定さ  
 れたプロジェクションデータの変数重要度を計算するステップと；

プロジェクションデータの変数重要度の解析に基づいて第 1 の記録されたデータマトリク  
 スをリファインするステップと；

を備えている請求項 1 記載の方法。

## 【請求項 3】

第 1 の記録されたデータマトリクスをリファインするステップは、第 1 の記録されたデー  
 タマトリクス内の変数が第 1 のエンドポイント信号マトリクス上の最小インパクトを有す  
 るように除去できるかどうかを決定するためにプロジェクションデータの変数重要度を解  
 析することを備えている請求項 2 記載の方法。

## 【請求項 4】

予め定められたしきい値以下のプロジェクションデータ値の変数重要度を有している変数  
 は捨てられる請求項 3 記載の方法。

## 【請求項 5】

予め定められた範囲内のプロジェクションデータ値の変数重要度を有している変数は捨て  
 られる請求項 3 記載の方法。

## 【請求項 6】

変数の数に関連するプロジェクションデータ値の変数重要度の少なくとも一次導関数は、  
 それ以下では変数が捨てられるプロジェクションデータの変数重要度用に、しきい値を選  
 択するために使用される請求項 3 記載の方法。

## 【請求項 7】

第 2 のエッチングプロセスを達成するステップは：

処理チャンパー内で第 2 のエッチングプロセスを開始するステップと；

少なくとも 1 つの記録されたデータベクトルの第 2 の記録されたデータマトリクスを形成  
 するために、連続的な時間間隔にわたって第 2 のエッチングプロセスに関する第 2 の測定  
 されたデータを記録するステップと；

少なくとも 1 つの記録されたデータベクトルと相関関係のマトリクスの少なくとも 1 つの  
 重みベクトルとを乗算することによって、少なくとも 1 つのエンドポイント信号を計算す  
 るステップと；

10

20

30

50

少なくとも1つのエンドポイント信号を検査することによって、エンドポイントが達成されたかどうかを決定するステップと；  
 エンドポイントが達成された場合にエッチングプロセスを停止するステップと；  
 を備えた請求項1記載の方法。

【請求項8】

第1のエッチングプロセスと第2のエッチングプロセスとは、単一の処理チャンバー内で達成される請求項1記載の方法。

【請求項9】

相関関係マトリクスは、選択された処理チャンバー内で達成されたエッチングプロセス用に計算される請求項1記載の方法。

【請求項10】

目標データは、選択された処理チャンバー内の実験によって決定され、選択された処理チャンバーは第2のエッチングプロセス用に使用される請求項1記載の方法。

【請求項11】

測定されたデータは、光放射データである請求項1記載の方法。

【請求項12】

測定されたデータは、電気的信号データである請求項1記載の方法。

【請求項13】

測定されたデータは、整合ネットワークキャパシタ設定データである請求項1記載の方法。

【請求項14】

第1の記録されたデータマトリクス、第1のエンドポイント信号マトリクス、および相関関係マトリクスは、

【数1】

$$\overline{XB} = \overline{Y},$$

の関係によって規定され：

ここにおいて、[X]はm掛けるnのデータポイントを有する第1の記録されたデータマトリクスを示していて、[B]はn掛けるpのデータポイントを有する相関関係マトリクスを示していて、[Y]はm掛けるpのデータポイントを有する第1のエンドポイント信号マトリクスを示している請求項1記載の方法。

【請求項15】

第1の記録されたデータマトリクスと第2の記録されたデータマトリクス内の所定の即時インタイムのデータは、各マトリクスの列の要素の平均値を算定し、その平均値を各要素から引くことによって、平均中心合わせされている請求項1記載の方法。

【請求項16】

第1の記録されたデータマトリクスおよび第2の記録されたデータマトリクス内の所定の即時インタイムのデータは、各マトリクスの列のデータの標準的偏倚を決定することによって標準化されている請求項1記載の方法。

【請求項17】

エッチングプロセスを達成するために構成されたエッチングリアクタを備えていて、前記エッチングプロセスは前記エッチングリアクタに接続された出力源によって駆動され；  
 前記エッチングプロセスのエンドポイントを検知するためのエンドポイント検知装置を備えていて、前記エンドポイント検知装置は、検知セクションと計算セクションとを備え、  
 前記検知セクションは前記エッチングリアクタ内のエッチングプロセスに関連するデータマトリクスを形成するために、連続した時間間隔にわたって第1のエッチングプロセスに関する第1の測定されたデータを使用して、相関関係マトリクスを決定し、特定のエッチングプロセス用の目標エンドポイントデータを使用して第1のエンドポイント信号マ

トリクスをアセンブルし、第1の記録されたデータマトリクスをリファインするために第1の記録されたデータマトリクス上と第1のエンドポイント信号マトリクスの部分最小自乗を達成し、リファインされ記録されたデータマトリクスと第1のエンドポイント信号マトリクスに基づいて相関関係マトリクスを算出し、そして、第2のエッチングプロセス用に第2の記録されたデータマトリクスを形成するために構成されていて、前記計算セクションは、相関関係マトリクスと第2の記録されたデータマトリクスを解析し、第2のエッチングプロセスのエンドポイントが達成された場合にエンドポイント信号を生成するように構成されている；

前記計算セクションから前記エンドポイント信号を受けるために構成された制御装置を備えていて、前記制御装置は前記エンドポイント信号に基づいて前記出力源を制御するために構成されている装置。 10

【請求項18】

前記検知セクションは、前記エッチングリアクタ内の放射スペクトルを連続的に検知するために構成されたフォトディテクタを備えている請求項17記載の装置。

【請求項19】

フォトディテクタセクションは、高解像度光放射分光センサーを備えている請求項18記載の装置。

【請求項20】

エッチングリアクタは、そこを通して前記検知セクションが放射スペクトルを検知する透明の材料で作られたのぞき窓を有する真空チャンバーを備えている請求項18記載の装置 20

【請求項21】

前記エッチングリアクタは、真空チャンバーと、前記真空チャンバー内に設けられた一对の平行な板状電極と、前記真空チャンバーに接続されたガス注入ラインと、および、前記真空チャンバーに接続されたガス排出ラインとを備えた容量結合プラズマリアクタである請求項17記載の装置。

【請求項22】

前記エッチングリアクタは、複数周波数の容量結合プラズマリアクタと、誘電結合プラズマリアクタと、電子サイクロトロン共鳴リアクタと、ヘリコンプラズマリアクタとから本質的になるグループから選択される請求項17記載の装置。 30

【請求項23】

前記計算セクションは、第1の測定されたデータの第1のエンドポイント信号マトリクス上の誘電として規定されたプロジェクションデータの変数重要度を計算し、プロジェクションデータの変数重要度の解析に基づいて第1の記録されたデータマトリクスをリファインするために構成されている請求項17記載の装置。

【請求項24】

前記計算セクションは、第1の記録されたデータマトリクス内の変数が第1のエンドポイント信号マトリクス上の最小インパクトを有するように除去できるかどうかを決定するためにプロジェクションデータの変数重要度を解析し、第1の記録されたデータマトリクスをリファインするために構成されている請求項23記載の装置。 40

【請求項25】

前記検知セクションは、前記エッチングリアクタ内のエッチングプロセスに関連する電気的信号データを連続的に検知するために構成されている請求項17記載の装置。

【請求項26】

前記検知セクションは、前記エッチングリアクタ内のエッチングプロセスに関連する整合ネットワークキャパシタ設定データを連続的に検知するために構成されている請求項17記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

## 発 明 の 背 景

本発明は、一般に半導体製造中におけるエンドポイント検知(endpoint detection)に関する。

### 【背景技術】

#### 【0002】

### 関 連 出 願 と の 相 互 参 照

この出願は、2001年3月23日に出願された米国特許出願第60/277,981号の優先権を主張する。

#### 【0003】

### 発 明 の 分 野

10

発明者等は、従来のプロセスリアクタおよびそれらのリアクタを使用する方法が有する問題を本発明によって解決されたことを確認した。

#### 【0004】

### 背 景 の 論 議

代表的には、半導体プロセス中に、ファインライン(fine line)に沿ってまたはシリコン基板条にパターン化されたビア(via)またはコンタクト(contact)内で、材料を除去またはエッチングするために、(ドライ)プラズマエッチングプロセスが利用される。このプラズマエッチングプロセスは、一般に、重ね合わせパターン、例えばフォトリジスト層のような保護層を有する半導体基板をプロセスチャンバー内に配置することを含んでいる。基板がチャンバー内に一旦配置されると、イオン化可能な解離ガス混合物が、予め特定された流れ率でチャンバー内に導入されるのに対して、真空ポンプが周囲のプロセス圧力を達成するために絞られる。その後、プラズマは、存在するガス種(species)の少量が、誘電的か静電容量的かのいずれかの高周波(RF)出力、あるいは、例えば電子サイクロトロン共鳴(electron cyclotron resonance) (ECR)を使用したマイクロ波出力の搬送を介して加熱された電子によってイオン化された場合に形成される。さらに、加熱された電子は、周囲のガス種のいくつかの種を解離するのに役立ち、露出された表面エッチング化学反応に適した反応種を生成する。プラズマが一旦形成されると、基板の露出された表面がプラズマによってエッチングされる。プロセスは、所定の反応物の適切な集中と、基板の露出された領域における種々の態様(例えば、トレンチ、ビア(vias)、コンタクト等)をエッチングするイオン集団(population)を含む最適な条件を達成するために調整される。エッチングが要求されるそのような基板材料は、二酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )ポリシリコン、および窒化シリコンを含む。

20

30

#### 【0005】

フィーチャーサイズ(feature size)が収縮し、集積回路(IC)組立中に使用されるエッチングプロセスステップの数と複雑さとがエスカレートすると、タイトなプロセス制御用の要求がより厳しいものとなる。従って、そのようなプロセスのリアルタイムの監視と制御が、半導体ICの製造において飛躍的に重要となってきた。例えば、エッチングステップまたはプロセスのタイムリーな完成用に必要のある監視および制御診断は、エンドポイント検知である。

#### 【0006】

40

エンドポイント検知は、エッチングステップの制御のために、また特に、フィーチャーエッチング(feature etch)完成またはエッチング先端部がエッチング停止層に到達した場合に正確な即時インタイム(instant in time)検知のために参照される。エッチングプロセスエンドポイントが不適切に検知された場合、次に、フィーチャーの厳密なアンダーカットがエッチング過剰のために生じ、または、部分的に完全なフィーチャーがアンダーエッチングによりもたらされる。その結果、不十分なエンドポイント検知が、失敗のリスクを増加するような不十分な品質の装置に導く。それゆえ、エッチングプロセスの正確で精密な完成は製造プロセス中に関係するための重要な領域である。

#### 【0007】

エンドポイント検知に使用されるあるアプローチは、発光分光法(optical emission spec 50

troscopy) (OES) を使用して、インタイム(in time)に予め特定された波長で、光の放射強度(emission intensity)を監視することである。そのような方法は、エッチングプロセスエンドポイントで明白な変移(transition)を示すエッチングプロセスに存在する化学種に対応する波長を確認しなければならなかった。次に、結果信号は、放射強度の明白な変移を検知するために分析され、結果信号の分析はエッチングプロセスの完成に相互に関連して使用される。代表的には、種は、反応種または揮発性エッチングプロセスに対応して選択された。例えば、選択された波長は、 $\text{SiO}_2$  とポリマーフィルムのエッチングの場合に  $\text{CO}^*$  放射に対応し、窒化物フィルムのエッチングの場合に  $\text{N}^*$  または  $\text{CN}^*$  放射に対応し、ポリシリコンのエッチングの場合に  $\text{SiF}^*$  に対応し、アルミニウムのエッチングの場合に  $\text{AlCl}^*$  放射に対応する。

10

#### 【0008】

上述した単一波長での放射強度を監視するアプローチに加えて、他のアプローチは、2つの波長での光の強度を監視し、2つの強度の比率(または、それらの数学上の操作)を記録することである。例えば、一方の波長は、エンドポイントでその集中が減衰する種用を選択され、第2の波長は、エンドポイントでその集中が増加する種用を選択される。それゆえ、比率は信号対雑音比を改良する。

#### 【0009】

しかしながら、ICデバイスサイズが縮小するにつれて、また、露出開口領域(exposed open area)が対応して減少すると、単一および2重波長エンドポイント検知スキームは、プロセスからの低い信号雑音比(S/N)を抽出するためにそれらの減少された強固さ故に、使用が限定されることが見出された。次に、プロセス技術者は、製造環境における十分な強固さを有する正しい波長を選択する恐るべき挑戦を示してきて、その結果、より技巧的なエンドポイント検知スキームが現れてきた。技巧的なエンドポイント検知が、数百の波長でのサンプルデータに計画され(すなわち、広い放射スペクトルが、エッチングプロセス中に適切な時間の各即時インタイムに記録される。)、また、主成分解析(Principal Component Analysis) (PCA) のような多変数のデータ分析技法が、エンドポイント信号を抽出するための適用された。

20

#### 【0010】

PCAにおいて、固有値解析(eigenvalue analysis)、特異値分解(singular value decomposition) (SVD)、および非線形部分最小自乗(nonlinear partial least-square) (NIPALS) を含むいくつかの技法が、データ散乱の変化が最大な多次元空間における主成分(principle)方向を確認するために採用されてきた。多次元空間の次元は、記録された、すなわち放射強度の個別の波長の数が記録された変数の数と等しい。またそれゆえ、PCAは、放射強度の変化が最大である多次元空間の方向を確認する。換言すれば、主成分構成要素は、各変数用の重み(weighting)係数のシリーズとして作用する。代表的には、第1の3つまたは4つの主成分構成要素(3つまたは4つの最大固有値に対応する)は、新たに記録されたデータから3つまたは4つのエンドポイント信号を引き出すために選択され採用される。しかしながら、光放射データの多変数解析用にPCAを使用することの欠点は、数学的厳密さおよび解析が伴うような複雑さを含んでいて、また、より重要なことに、エンドポイント信号を含む減少されたデータのセットを抽出するためのエッチングプロセスを有する物理的基準の使用に欠けている。

40

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0011】

従って、何が必要であるかという、上記で確認された欠点を克服するエンドポイント検知用の改良された装置と方法である。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0012】

#### 発明の概要

従って、本発明は、フィーチャーエッチング完成の改良された検知用の装置と方法を有利

50

に提供することである。

本発明の実施例は、有利には、第1の記録されたデータマトリクスを形成するために連続した時間間隔にわたって第1のエッチングプロセスに関する最初に測定されたデータを記録し、特定のエッチングプロセス用に目標エンドポイントデータを使用して第1のエンドポイント信号マトリクスをアセンブルし、第1の記録されたデータマトリクスをリファインするために第1の記録されたデータマトリクスと第1のエンドポイント信号マトリクス上の部分最小自乗解析を達成し、またリファインされ記録されたデータマトリクスと第1のエンドポイント信号マトリクスに基づいて相関関係マトリクスを算出することによって、相関関係マトリクスを決定するステップを備えた方法を提供する。この方法はさらに、第2の記録されたデータマトリクスを形成するための第2のエッチングプロセスを達成するステップを備えていて、相関関係マトリクスと第2の記録されたデータマトリクスは、第2のエッチングプロセスのエンドポイントが達成されたかどうかを決定するために解析される。

#### 【0013】

本発明の方法の好ましい実施例は、部分最小自乗解析を達成するステップが、第1の測定されたデータの第1のエンドポイント信号マトリクスに影響するように規定されたプロジェクトンデータの変数重要度を計算するステップと、プロジェクトンデータの変数重要度の解析に基づいて第1の記録されたデータマトリクスをリファインするステップとを備えているように規定されている。第1の記録されたデータマトリクスをリファインするステップは、第1の記録されたデータマトリクス内の変数が第1のエンドポイント信号マトリクス上の最小インパクトを有するように除去できるかどうかを決定するためにプロジェクトンデータの変数重要度を解析することを備えている。リファイン中に使用され捨てられる変数は、予め定められたしきい値以下のプロジェクトンデータ値の変数重要度を有しているか、または、予め定められた範囲内にある。これに替えて、可変数に関連するプロジェクトンデータ値の変数重要度の少なくとも一次導関数は、それ以下では変数が捨てられるプロジェクトンデータの変数重要度用に、しきい値を選択するために使用される。

#### 【0014】

この方法の好ましい実施例は、第2のエッチングプロセスを達成するステップが、処理チャンバー内で第2のエッチングプロセスを開始するステップと、少なくとも1つの記録されたデータベクトルの第2の記録されたデータマトリクスを形成するために、連続的な時間間隔にわたって第2のエッチングプロセスに関する第2の測定されたデータを記録するステップと、少なくとも1つの記録されたデータベクトルと相関関係のマトリクスの少なくとも1つの重みベクトルとを乗算することによって、少なくとも1つのエンドポイント信号を計算するステップと、少なくとも1つのエンドポイント信号を検査することによって、エンドポイントが達成されたかどうかを決定するステップとエンドポイントが達成された場合にエッチングプロセスを停止するステップとを備えているように規定される。

#### 【0015】

好ましい実施例において、第1のエッチングプロセスと第2のエッチングプロセスとは、単一の処理チャンバー内で達成される。相関関係マトリクスは、選択された処理チャンバー内で達成されたエッチングプロセス用に計算される。目標データは、選択された処理チャンバー内の実験によって決定され、選択された処理チャンバーは第2のエッチングプロセス用に使用される。

#### 【0016】

好ましい実施例において、測定されたデータは、光放射データであるが、しかしながらこれに替えて、測定されたデータは、電気的信号データであるか、および/または、測定されたデータは、整合ネットワークキャパシタ設定データである。

#### 【0017】

好ましい実施例において、第1の記録されたデータマトリクス、第1のエンドポイント信号マトリクス、および相関関係マトリクスは、

【数 1】

$$\overline{XB} = \overline{Y},$$

【0018】

の関係によって規定され：

ここにおいて、[X] は m 掛ける n のデータポイントを有する第 1 の記録されたデータマトリクスを示していて、[B] は n 掛ける p のデータポイントを有する相関関係マトリクスを示していて、[Y] は m 掛ける p のデータポイントを有する第 1 のエンドポイント信号マトリクスを示している。第 1 の記録されたデータマトリクスと第 2 の記録されたデータマトリクス内の所定の即時インタイムのデータは、各マトリクスの列の要素の平均値を算定し、その平均値を各要素から引くことによって、平均中心合わせされているか、または、第 1 の記録されたデータマトリクスおよび第 2 の記録されたデータマトリクス内の所定の即時インタイムのデータは、各マトリクスの列のデータの標準的偏倚を決定することによって標準化されている。

【定義】

【0019】

本明細書において、[X] は  $\overline{X}$  を意味し、[B] は  $\overline{B}$  を意味し、[Y] は  $\overline{Y}$  を意味し、 $[y_1]$  は  $\overline{y_1}$  を意味し、 $[y_2]$  は  $\overline{y_2}$  を意味し、[T] は  $\overline{T}$  を意味し、[P] は  $\overline{P}$  を意味し、[U] は  $\overline{U}$  を意味し、[C] は  $\overline{C}$  を意味し、[E] は  $\overline{E}$  を意味し、[F] は  $\overline{F}$  を意味し、[H] は  $\overline{H}$  を意味し、[W] は  $\overline{W}$  を意味することをここで定義する。

本発明の実施例は有利には、エッチングプロセスを達成するために構成されたエッチングリアクタを備えていて、エッチングプロセスはエッチングリアクタに接続された出力源によって駆動され、エッチングプロセスのエンドポイントを検知するためのエンドポイント検知装置を備えていて、エンドポイント検知装置は、検知セクションと計算セクションとを備え、検知セクションはエッチングリアクタ内のエッチングプロセスに関連するデータを連続的に検知するために構成されていて、計算セクションは、第 1 の記録されたデータマトリクスを形成するために、連続した時間間隔にわたって第 1 のエッチングプロセスに関する第 1 の測定されたデータを使用して、相関関係マトリクスを決定し、特定のエッチングプロセス用の目標エンドポイントデータを使用して第 1 のエンドポイント信号マトリクスをアセンブルし、第 1 の記録されたデータマトリクスをリファインするために第 1 の記録されたデータマトリクス上と第 1 のエンドポイント信号マトリクスの部分最小自乗を達成し、リファインされ記録されたデータマトリクスと第 1 のエンドポイント信号マトリクスに基づいて相関関係マトリクスを算出し、そして、第 2 のエッチングプロセス用に第 2 の記録されたデータマトリクスを形成するために構成されていて、計算セクションは、相関関係マトリクスと第 2 の記録されたデータマトリクスを解析し、第 2 のエッチングプロセスのエンドポイントが達成された場合にエンドポイント信号を生成するように構成されていて、計算セクションからエンドポイント信号を受けるために構成された制御装置を備えていて、制御装置はエンドポイント信号に基づいて出力源を制御するために構成されている装置を提供する。

【0020】

本発明の装置の好ましい実施例は、検知セクションが、エッチングリアクタ内の放射スペクトルを連続的に検知するために構成されたフォトディテクタを備えるように構成されている。フォトディテクタセクションは、高解像度光放射分光センサーを備えている。エッチングリアクタは、そこを通過して検知セクションが放射スペクトルを検知する透明の材料

で作られたのぞき窓を有する真空チャンバーを好ましくは備えている。

【0021】

好ましいエッチングリアクタは、真空チャンバーと、真空チャンバー内に設けられた一対の平行な板状電極と、真空チャンバーに接続されたガス注入ラインと、および、真空チャンバーに接続されたガス排出ラインとを備えた容量結合プラズマリアクタである。これに替えて、エッチングリアクタは、複数周波数の容量結合プラズマリアクタと、誘電結合プラズマリアクタと、電子サイクロトロン共鳴リアクタと、ヘリコンプラズマリアクタとから本質的になるグループから選択される。

【0022】

好ましい実施例において、計算セクションは、第1の測定されたデータの第1のエンドポイント信号マトリクス上の誘電として規定されたプロジェクションデータの変数重要度を計算し、プロジェクションデータの変数重要度の解析に基づいて第1の記録されたデータマトリクスをリファインするために構成されている。計算セクションは、第1の記録されたデータマトリクス内の変数が第1のエンドポイント信号マトリクス上の最小インパクトを有するように除去できるかどうかを決定するためにプロジェクションデータの変数重要度を解析し、第1の記録されたデータマトリクスをリファインするために好ましくは構成されている。

【0023】

これに替わる実施例において、検知セクションは、エッチングリアクタ内のエッチングプロセスに関連する電気的信号データを連続的に検知するためか、および/または、エッチングリアクタ内のエッチングプロセスに関連する整合ネットワークキャパシタ設定データを連続的に検知するために構成されている。

【0024】

本発明のより完全な理解とそれに付随する利点は、特に添付した図面と関連して考慮した場合に、以下の詳細な記述と関連して容易に明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

好ましい実施例の記述

上述したように、発明者等は、従来のプロセスリアクタおよびそれらのリアクタを使用する方法が有する問題を本発明によって解決されることを確認した。従って本発明は、従来のプロセスリアクタに関して確認された欠点を克服するエンドポイント検知用の改良された装置と方法とを提供する。

【0026】

発明者等は、小さい開口領域(open area)基板のエッチングプロセス用にエンドポイントを正確に検知することが困難であることを認識した。デバイスが縮小すると開口領域も収縮し、従ってエンドポイント信号と信号対雑音比も減少する。何が必要であるかということ、エッチングプロセスによって公知の物理的基準を使用してエンドポイント信号を抽出するための多変数解析アプローチを簡単にするのである。

【0027】

さらに、発明者等は、ウェーハからウェーハにエッチングプロセス用のエンドポイントを反復的に検知することは困難であることを認識した。エンドポイント検知アルゴリズムは、プロセス条件においてウェーハからウェーハの変化可能性を克服するために強固でなければならない。何が必要であるかということ、ウェーハからウェーハに操作者の干渉がない最小の要求をする強固なアルゴリズムである。

【0028】

発明者等は、最も有益なエンドポイント信号を含む波長を選択することが重要であることを認識した。上述したように、エンドポイント信号を抽出するために採用された従来の多変数解析技法は、数学的に複雑で厳しく、また、信号を抽出するためのプロセスに関する情報を備えていない。PCAにおいて、ごく僅かの主成分構成要素が、データからエンドポイント信号抽出のために選択された。しかしながら、これらの構成要素を選択するため

に使用された基準は、その場限りのものである。従って、重要な波長を選択し、エッチングプロセス物理学に基づいて告知された決定を使用するウェートを指定する方法が必要である。放射スペクトルから波長の選択と除去に関する告知された決定を作り出すために物理的基準のセットが必要である。

#### 【0029】

本発明を、発明者らによって確認され上述された問題を克服する有利な構造と方法を提供する好ましい実施例を参照して説明する。

図面を参照すると、図1は、プラズマエッチングリアクタすなわちデバイスBと、エッチングプロセスのエンドポイントを検知するためにプラズマエッチングデバイスBによって処理されるエンドポイント検知装置A'を表わしている。プラズマエッチングデバイスBは好ましくは、アルミニウムのような導電性の材料で形成された真空処理チャンバー1と、真空チャンバー1の上部と下部に設けられた1対の平行な電極2と3を備えている。電極2と3は、電極2と3が予め定められた間隙を有するように真空チャンバー1内に設けられている。ガス供給ライン4とガス排出ライン5とは、真空処理チャンバー1に接続されている。ガス供給ライン4は、過フッ化炭化水素(fluorocarbon) (例えば、CF<sub>4</sub>のようなCFシリーズ) エッチングガスをエッチングガス供給セクション20から真空チャンバー1内へ導入するために用いられている。ガス排出ライン5は、使用されていないプロセスガスと真空チャンバー1内で生じた反応排出物を、真空ポンプを通して真空チャンバー1の外部の排出物取り扱い装置(例えば、排除システム)に排出するために使用されている。

#### 【0030】

下方の電極2は、半導体基板すなわちウェーハWのような処理対象物のベースとして使用されるべき真空チャンバー1の底面上に形成されている。下方の電極2は、好ましくは接地電極であり、上方の電極3は、高周波電源6に接続されている。先にも述べたように、真空処理チャンバー1内への処理ガスの導入と電極3への電源の適用はプロセスプラズマPを活性化し、それによって、反応物とイオン集団(ion population)が、ウェーハW上のパターン化された材料フィルムをエッチングするために形成される。

#### 【0031】

図示されここで述べられる真空処理チャンバー1は、容量結合プラズマ(capacitively coupled plasma) (CCP) リアクタである。しかしながら、この分野の通常の知識を有する人に容易に明らかなように、本発明は、ここで論議している材料からそれることなく、多周波数CCPリアクタ、誘電結合プラズマ(inductively coupled plasma) (ICP) リアクタ、電子サイクロトロン共鳴(electron cyclotron resonance) (ECR) リアクタおよびヘリコン(helicon)タイプのリアクタに応用可能である。

#### 【0032】

好ましくは水平方向に延びた薄くて長いのぞき窓1aは、真空処理チャンバー1の周面の一部に取り付けられている。のぞき窓1aは、クォーツガラスのような透明の材料で形成されていて、そこを通して、プラズマPの放射スペクトルを伝達できる。半導体ウェーハWのエッチングプロセスの進行状態を検知するために、のぞき窓1aを通して通過したプラズマPの放射スペクトルは、プラズマエッチングのエンドポイントを検知するためにエンドポイント検知装置A'に案内される。

#### 【0033】

エンドポイント検知装置A'は好ましくは、フォトディテクタ7と計算セクション8とを備えている。フォトディテクタ7は、真空処理チャンバー1ののぞき窓1aから放射された光電的に伝達されるべきプラズマPの放射スペクトルを連続的に検知する。計算セクション8は、ラインS1を介して計算セクション8に送られたフォトディテクタ7の検知信号に基づいたエッチングの進んだ状態を計算する。計算セクション8は、例えば、エンドポイントの検知の電気信号を制御装置9に送るように構成されている。制御装置9は計算セクション8から送られた電気信号に基づいて高周波出力源6の駆動を制御する。上述した構造によれば、予め定められたパターン用に適したエッチングプロセスは、エッチング

のエンドポイントがエンドポイント検知装置A'によって検知されるまで半導体ウェーハWの表面に提供される。

【0034】

フォトディテクタ7は好ましくは、真空処理チャンバー1ののぞき窓1aから放射されたプラズマPの放射スペクトルを集める収差補正レンズ71と、収差補正レンズ71の焦点に備えられた入射スリット72と、入射スリット72を通して通過する放射スペクトルを減少するための絞り73とを備えている。さらにフォトディテクタ7は、絞り73から送られた放射スペクトルを反射するための第1の光学センサー30と、反射鏡74から反射された光を受けるための凹面回折格子75と、第1の受光センサー79とを備えている。第1の受光センサー79は、反射鏡76、77を通して、また、放射スリット78を通って凹面回折格子75から送られた特定の波長を有する一次回折光(first-order diffracted light)を光電的に伝達するように受ける。凹面回折格子75から送られた一次回折光が、エッチングにおける反応性生物(例えば、酸化ケイ素フィルムの場合の $\text{CO}^*$ )である活性化された種の変化を大きく捕捉するために増幅されるように、第1の受光センサー79は好ましくは、受けた光を光電的に増幅する光電子増倍管を備えている。

【0035】

凹面回折格子75は、受光角度が変更できるように形成されている。従って、回折格子75の受光角度が予め定められた角度にセットされた場合、特定の波長を有する一次回折光は、反射鏡76と77および放射スリット78を通して第1の受光センサー79に放射できる。さらに、回折格子75が連続的に回転されると、個別の波長インクレメント(increment)での放射強度は、連続的に記録することができ、広い放射スペクトルを集合できる。インクレメントの分解能(resolution)は、分光計(spectrometer)のデザインに依存する(例えば、数オングストローム)。

【0036】

一般的に、フォトディテクタ7ハードウェア(分光計)は、光分散機構(例えば、格子(grating)など)および/または、波長選択デバイス(例えば、フィルターなど)と、光検知器(例えば、CCDライン配列、CIDライン配列、光電子倍增管など)と、および測定された放射スペクトルを記録するための計算プロセッサとを備えている。フォトディテクタとそのアセンブリの例は、米国特許第5,888,337号に述べられている。これに替わるフォトディテクタの例は、例えば、ピークセンサーシステム(Peak Sensor System)からの高分解能OESセンサーのような、エンドポイント用に構成された高分解能OESセンサーを備えている。そのようなOESセンサーは、紫外(UV)、可視(VIS)および近赤外(NIR)線スペクトルにまたがる広いスペクトルを有している。分解能はほぼ1.4オングストロームで、例えば、センサーは240から1000ナノメートル(nm)の5550波長を集められる。センサーは、2048ピクセル線形CCD配列が一体にされた、高感度小型ファイバーレンズ(optic)UV-VIS-NIR分光計が装着されている。分光計は、単一の、および束ねられた光ファイバーを通して伝達された光を受け、ここで、光ファイバーから出た光は、固定された格子を使用してラインCCD配列を横切って分散される。上述した構造に類似して、光真空窓を通して放射する光は、凸状球面レンズを介して光ファイバーの入口端部に焦点を結ぶ。所定のスペクトル範囲(UV、VISおよびNIR)用に特に回転される3つの分光計は、プロセスチャンバー用のセンサーを形成する。各分光計は、独立したA/Dコンバーターを備えている。そして最後に、センサー使用に応じて、全放射スペクトルは0.1から1.0秒毎に記録できる。

【0037】

図2は、上記で規定されたデバイスを使用して240nmから1000nmで記録された代表的な放射スペクトルを示している。放射強度は、ウェーハ上のプラズマに存在する特定の種の量に関連し、そして、図2で特筆した波長は原子/分子種を示している。図2に示されたような放射スペクトルは、例えば1024の個別の波長で、放射強度の記録を含んでいて、放射スペクトルは、例えば、エッチングプロセス用に毎秒記録できる。従って、エッチングプロセスがほぼ2分の時間である場合、120の個別の放射スペクトルが

記録される。換言すれば、操作者は、UV-VIS-NIRスペクトルにおいて1024の個別の波長で放射強度の時間トレース(time trace)120秒の長さを記録する。

#### 【0038】

フォトディテクタ7によって受けられたデータは、計算セクション8に転送され、ここで、データは計算セクション8内のプロセッサにデジタル的に記録され貯蔵される。即時インタイム(instant in time)での放射スペクトルは、マトリクス[X]の行(row)として貯蔵され、そしてそれゆえ、[X]が一旦アセンブルされると各列は異なった即時インタイムを表わし、各列(column)は、所定の波長用に異なった放射強度を表わす。

#### 【0039】

それ故、この例用に、マトリクス[X]は120掛ける(by)1024、より一般的にはm 10掛けるnの寸法の矩形マトリクスである。データが一旦マトリクスに貯蔵されると、データは好ましくは、所望により平均中心合わせ(mean-center)され、および/または、標準化される。マトリクスの列に貯蔵されたデータを平均中心合わせするプロセスは、列要素の平均値を算出し、各要素からその平均値を差し引くことを含んでいる。さらにマトリクスの列に存在するデータは、列のデータの標準偏差を決定することによって標準化される。

#### 【0040】

以下の記述は、それによってエンドポイント信号がマトリクス[X]に貯蔵されたデータから抽出される方法を議論する。

この方法の初期位相は、エンドポイント信号抽出用の重み係数の選択で開始する。製造環 20境における実際のエッチングプロセスを有するエンドポイント検知アルゴリズムの利用に先立って、放射スペクトルデータの多くのセットがエンドポイント信号に関連しているローディング係数(loading coefficient)のセットが規定されなければならない。一般的に、多変数解析用に、測定されたデータとエンドポイント信号との間の関係は次のように表わされる。

#### 【数1】

$$\overline{XB} = \overline{Y} \quad (1)$$

#### 【0041】

ここで、[X]は、上述したm掛けるnのマトリクスをあらわしていて、[B]はn掛けるp (p<n)のローディング(または、相関関係)マトリクスをあらわしていて、[Y]は、エンドポイント信号を含むm掛けるpのマトリクスをあらわしている。典型的には、PCAを使用した場合、ローディングマトリクス[B]は、列として、共分散(covariance)マトリクス[X]<sup>T</sup>[Y](上付き“T”は行列の入れ替え(transpose)を意味する)の3つまたは4つの最大固有値に対応する固有ベクトル(eigenvector)を含んでいて、ここで、保持された(例えば、3つまたは4つの)固有ベクトルは次元pを規定する。しかしながら、エンドポイント検知用の多変数解析(PCAのような)を使用する他の全ての試みとは異なり、本発明の部分最小自乗(partial least square) (PLS)方法は、エンドポイント信号を“フォース(force)”するために(マトリクス[Y]を“スコア(score)”する 40)、そして、それからPLS解析によって重み係数(マトリクス[B]を“ローディング”する)を導く目標データとして、特定のエッチングプロセス用に、公知のまたは予め定められたエンドポイントデータを採用する。

#### 【0042】

例えば、2つのそのようなエンドポイント信号が図3Aと3Bとに示されている。図3Aは、m掛ける1のマトリクスまたは第1の列[Y]に貯蔵された列ベクトル[y<sub>1</sub>]として表わされ多第1のエンドポイント信号y<sub>1</sub>(t)を示していて、図3Bは、m掛ける1のマトリクスまたは第2の列[Y]に貯蔵された列ベクトル[y<sub>2</sub>]として表わされた第2のエンドポイント信号y<sub>2</sub>(t)を示していて、換言すれば、

#### 【数2】

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} \bar{y}_1, \bar{y}_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

## 【0043】

この場合において、エンドポイント信号マトリクス[Y]は2つの列を含んでいるけれども、エンドポイント信号マトリクス[Y]は、pの列次元、または、pのエンドポイント信号を有するようにより一般的に表現できる。マトリクス[Y]の初期規定を“フォース”するために採用された目標エンドポイント信号は、特定のエッチングプロセスの放射スペクトル特性の研究において得られた有意な経験から決定されてきた。このエンドポイント信号の初期規定は、光放射データの大きなセットから強固なエンドポイント検知をどのようにして抽出するか、エンドポイント検知モデル（すなわち、ローディングマトリクス[B]の形成）を“トレイン(train)”するためにいまや使用される。さらに、エンドポイント信号またはマトリクス[Y]の列は、最も強固なモデル用に、光放射データとエンドポイント信号との間の関係を最適化するために調整される。

10

## 【0044】

従って、以下はマトリクス[X]用に上記でセットされ、上記で述べた図3Aと3Bとに示されたマトリクス[Y]用のエンドポイント信号を使用した例であり、マトリクス[X]は120掛ける1024の次元を有し、マトリクス[B]は1024掛ける2の次元を有し、マトリクス[Y]は120掛ける2の次元を有する。

20

## 【0045】

データマトリクス[X]とエンドポイント信号マトリクス[Y]とが一旦アセンブル(assembly)されると、[X]と[Y]との間隙を最良に接近するために、また、[X]と[Y]との間の関係を最適にするためにデザインされた関係は、PLS解析を使用して達成される。

## 【0046】

PLSモデルにおいて、マトリクス[X]と[Y]とは次のように分解される：

## 【数3a】

$$\bar{X} = \bar{T}\bar{P}^T + \bar{E}; \quad (3a)$$

30

## 【数3b】

$$\bar{Y} = \bar{U}\bar{C}^T + \bar{F}; \quad (3b)$$

および

## 【数3c】

$$\bar{U} = \bar{T} + \bar{H}; \quad (3c)$$

40

ここで、[T]は[X]変数を要約するスコアのマトリクスであり、[P]はマトリクス[X]用のローディングのマトリクスであり、[U]は[Y]変数を要約するスコアのマトリクスであり、[C]は[Y]と[T]（[X]）との間の相関関係を示すウェートのマトリクスであり、[E]、[F]および[H]は残りのマトリクスである。さらに、PLSモデルにおいては、[U]と[X]に相関関係し、[T]を算出するのに使用される重み(weight)と呼ばれる付加的なローディング[W]がある。要約すると、PLS解析は、ライン、平面、または超平面に適するために、オリジナルのデータ表[X]と[Y]によく近似し、また、超平面(hyper plane)上の観察位置間の共分散を最大にする目的で、複数次元空間のポイントとして表わされた[X]と[Y]のデータの両方に構造的に対応

50

する。

【0047】

図4は、[X]と[Y]のPLS解析へのデータ入力と、対応する出力[T]、[P]、[U]、[C]、[W]、[E]、[F]、[H]およびプロジェクションにおける変数重要度(variable importance in the projection)(VIP)の概略を提供する。PLSモデルを支持する商業的に利用可能なソフトウェアの例は、SIMCA-P 8.0である。このソフトウェアのさらなる詳細のために、使用者マニュアル(SIMCA-P 8.0への使用者案内：多変数データ解析における新標準；ウーメトリックス(Umetrics)ABのバージョン8.0、1999年9月)を参照してほしい。

【0048】

PLS解析が一旦完成し、上記出力マトリクスが算出されると、各期間の[Y]マトリクスの影響または[X]マトリクスの列、すなわち、VIPは決定される。VIPは、寄与変数影響(contribution variable influence)の全てのモデルの次元の総計である。与えられたPLS次元用に、 $(VIN)_j^2$ はその期間のPLSウェートの自乗( $w_{ij}$ )<sup>2</sup>に関連する。集積された(全体のPLS次元)値、

【数4】

$$VIP_j = \sum_i (VIN)_j^2, \quad (4)$$

【0049】

がさらなる解析用に使用される。マトリクス[X]における各変数用にVIPが一旦算出されると、それらは分類され、変数の数(可変数)(variable number)に対して下降順にプロットされる。最大のVIPを有するこれらの変数は、マトリクス[Y]のエンドポイントに最大のインパクトを有する。

【0050】

図5は、VIP対変数の数のプロットの例を表わしている。図5から、エンドポイント信号[Y]の与えられた変数の相対的重要性を評価し、それにより、オリジナルデータマトリクス[X]の変数次元nを減少することによって、マトリクス[X]をリファイン(refine)する。最低限のインパクトの変数またはエンドポイント信号への少ない重要性を捨てる(discard)ために使用された例示的基準は：(1)VIPが、予め特定したしきい値より下がった変数を捨てる；(2)最低の10<sup>th</sup>百分位数(percentile)、または、他の予め定められたある範囲内のVIPに関連されたこれらの変数を捨てる(あるいは、換言すれば、トップの90<sup>th</sup>の百分位数の最大VIPに関連する変数を保持する；百分位数のしきい値または選択された範囲は、ここで述べた90/10の実施例から異なることができることが特筆される)(3)可変数に関するVIPの一次、二次、またはより高次の導関数は、VIP用の値を選択するのに使用され、それ以下で、これらの変数は捨てられる(すなわち、一次または二次導関数の最大、または、一次導関数が予め定められたしきい値傾斜より小さくなった場合)を含んでいる。

【0051】

上述した基準のいずれか1つを使用して、人は、エンドポイント信号の最低限のインパクトを有するこれらの変数を捨てられる。このデータ減少またはリファインは、つぎに、データマトリクス[X]の列空間をp(上述の例において1024)からq(例えば、50の変数)に減少し、また、M掛けるq(120掛ける50)の次元の“新たな”、減少された、またはリファインされたデータマトリクス[X]<sup>\*</sup>を形成し；いまや、重複決定(over-determine)されたシステムは数(1)に従う。一旦最初のデータ減少が行なわれると、エンドポイント検知用に重要なこれらの変数(すなわち、これらの個別の波長を認識する)を貯蔵できる。その後、データマトリクス[X]<sup>\*</sup>のリファインまたは減少は達成でき、および/または、方法は、減少されたマトリクス[X]<sup>\*</sup>を使用してPLSモデルから出力マトリクスを再算出し、貯蔵された個別の波長で測定されたデータとエンドポイント信号との間の関係を確立するためにマトリクス[B]を決定して進行できる。

## 【0052】

この点において、PLSモデルは、減少されたマトリクス [X] \* がPLS解析の入力として使用されていることを除いて、図4に示された概略に従って繰り返される。出力マトリクスはついで再算出される。上述したように、VIPは、データマトリクス [X] \* をさらにリファイン(refine)するために図5に関連した記述に従って研究され、または、マトリクス [B] は、次の関係を使用した出力データから評価される：

## 【数5】

$$\bar{B} = \bar{W} (\bar{P}^T \bar{W})^{-1} \bar{C}^T. \quad (5)$$

10

## 【0053】

データマトリクス [X] \* が一旦最適化されると、PLS解析を通した最終的経路は、アップデートに一般に要求されるか、または、マトリクス [B] を算出するために必要な出力マトリクスが再算出される。以下において、数(5)の評価は、サンプリングされたデータマトリクスからエンドポイント信号を抽出するために使用されるべき重み係数のセットに導く。

## 【0054】

上述の議論は、マトリクス [B] を決定する方法の1つの実施例を提供し、2つのエンドポイント信号 [y<sub>1</sub>] と [y<sub>2</sub>] とが開始ポイントとして使用される。しかしながら、PLSモデルは、これに替えてマトリクス [Y] にアセンブルされた1つまたはそれ以上の最初のエンドポイント信号を有して実行でき、ついで、データマトリクス [X] とエンドポイント信号 [Y] との間の関係を改良または最適化するために調整が実行される。エンドポイント信号の調整は、エンドポイント信号の形状、図3Aのような変曲点の位置、または図3Bのような信号最小の位置を調整することを含むことができる。

## 【0055】

上記実施例は、光放射信号からのデータマトリクス [X] のアセンブリについて述べているが、しかしながら、特定の時間周期にわたって特定の割合でサンプリングされた他のチャンパー信号がこれに替えて使用され得る。例えば、電気信号または整合ネットワークキャパシタ設定(match network capacitor setting)が、光データに付加して、またはそれに替えて使用でき、マトリクス [X] の別個の列として貯蔵される。

30

## 【0056】

重み係数を決定するための計算セクション8によって達成された手順100は図6に示されている。ステップ110において、マトリクス [X] は、測定された光放射データ（および/または、電気的データ、整合ネットワークキャパシタ設定等のような他のデータ）からアセンブル(集合)(assemble)され、各列は、各測定された変数の時間トレース(trace)を表わしている。次にステップ120において、マトリクス [Y] がプロジェクトされたエンドポイントとアセンブルされ、各列は図3Aと3Bに示されたようなエンドポイント信号を表わす。ステップ130において、マトリクス [X] とマトリクス [Y] とは、上述した重み、ローディング、変数重要度およびマトリクス勘定を算出するためにPLS解析モデル内に入力される。ステップ140は、プロジェクションの変数重要度(VIP)データ（図5のように下降順で貯蔵されプロットされた）をプロットし分析(解析)することを含む。そして、ステップ150は、PLS解析から結果を与えられてプロジェクトされたエンドポイント信号マトリクス [Y] への調整が要求されたかどうかを決定する。そうである場合、エンドポイント信号マトリクス [Y] は変更されて再アセンブルされ、[X] と [Y] マトリクスは、PLS解析に再入力される。そうでない場合、解析はステップ160へ進む。ステップ160は、エンドポイント信号マトリクス [X] がリファイン(refine)(すなわち減少)されるべきかどうかを決定し、もしそうであれば、対応する新たな重み、ローディング、変数誘導(variable influence)、およびスコアマトリクスを再算出するために、新たなデータマトリクス [X] \* を有してステップ170に続いてPLS解析を繰り返す。ステップ170において、図5に示されたVIPと関連して述べ

40

50

られた基準は、マトリクス [Y] を新たなマトリクス [X] に減少するために使用され、減少されたマトリクスは、エンドポイント信号用に重要でないに見える（すなわち、データ変数とエンドポイント信号との間に弱い相関関係または最小のインパクトが有る）これらの変数(列)を捨てた。マトリクス [X] が終了したと一旦決定されると、ステップ 180 は達成される。ステップ 180 は、実際のエンドポイント検知プロセスにおいて後で使用するための数 (5) から相関関係マトリクス [B] を算出することを含む。そしてステップ 190 は、相関関係マトリクス [B] を、エッチングプロセス用に使用されるエンドポイント検知アルゴリズムと合わせることを含む。

#### 【0057】

相関関係マトリクス [B] が一旦評価されると、相関関係マトリクス [B] は、ウェーハからウェーハへ、およびウェーハロットからウェーハロットへ、最小変数可能性を有するエッチングプロセスエンドポイントに強固な決定を提供するために、エンドポイント検知アルゴリズムの一部として使用できる。エンドポイント検知アルゴリズムは、一般的に、種々のエッチングプロセスに適用できるけれども、しかしながら、上述したように開発された特別の相関関係マトリクス [B] は、特定のリアクタにおける特別のプロセス用に特定される。例えば、酸化エッチングは、図 1 において述べたのと良く類似したリアクタで達成されるであろう。図 1 を参照すると、CCP エッチングリアクタが示されていて、ウェーハは、接地された下方の電極（またはチャック電極）の頂上にセットされるのに対して、上方の電極は、プロセスガスが一旦真空チャンバーに導入されると、プロセス用プラズマを発生するために出力される。酸化エッチング用の代表的なプロセスガス化学物質は、 $C_4F_8$  /  $CO/O_2$  /  $Ar$  の種混合 (specie mix) を含むことができる。上記で述べたように、このガス混合物の解離とイオン化は、好ましい材料（例えば、 $SiO_2$ ）と反応するために好適なエッチング化学物質に導く。

#### 【0058】

エッチングプロセスがプラズマの点火に続いて一旦活性化されると、上述したような光放射センサー、および/または、他の電気的測定デバイスを備えたエンドポイント監視システムは、予め特定された割合でデータの記録を開始する。例えば、光放射センサーは、放射スペクトルを各 0.1 から 1.0 秒毎に記録することができる。好ましいサンプリング割合は、1 ヘルツ (Hz) である。監視システムは、図 6 を支持する物質に述べられたような、これらの信号を最も重要なものとしてエンドポイント信号に記録するよう指令される。例えば、データ操作時間とデータ貯蔵要求を減少するために、プラズマリアクタから分散された光スペクトルを検知するために使用された電荷結合デバイス (CCD) ライン配列は、電荷注入デバイス (charge-injection device) (CID) ライン配列と置き換えることができ、重要であると考えられる光の波長に属するこれらの要素（またはピクセル）のみが記録される CID 配列とは異なり、CCD 配列のすべての要素は読まなければならない。光放射データ（および/または、他のデータ信号）の操作が、エッチングプロセス中に 1 つの即時インタイム用に一旦完了すると、行はデータマトリクス [X] 内に満たされる。図 1 のハードウェアの計算セクション 8 を使い、数 (5) に従うと、データマトリクス [X] の行ベクトルは、1 つまたはそれ以上のエンドポイント信号の 1 つのデータポイントを算出するために、マトリクス [B] の 1 つまたはそれ以上の重み (列) ベクトル上にプロジェクトされる。エッチングプロセスが進み、データ (マトリクス [X] の行) が満たされると、1 つまたはそれ以上のエンドポイント信号は、図 3 A と 3 B のそれらと非常に類似してインタイムに発展する。これらのエンドポイント信号がインタイムに発展するにつれて、その様な信号のエンドポイントを検知するための手段は、図 3 A と 3 B に示されたそれらのように装備される。

#### 【0059】

図 7 は、本発明によるエッチングプロセスの終りを監視し検知するために使用された代表的なステップ 200 を示している。この方法は、エッチングプロセス用にチャンバー状態をセットアップすることによって、一般的にステップ 210 で始まる。例えば、チャンバーセットアップは、処理されるべき基板を装填し、真空チャンバー（例えば、図 1 に示さ

れたような真空チャンバー)を基本圧力まで引き下げ、プロセスガスの流れを開始し、そしてチャンバー処理圧力を確立するために真空ポンプの絞りを調整することを含む。ステップ220において、プラズマは、図1を参照して上述したように、上方の電極へのRF出力の適用によって点火され、それによってエッチングプロセスが開始される。ステップ230は、第1の即時インタイムで測定されたデータの第2のセットを記録することを含む。データサンプリング中、データは、エンドポイントが達成されるまで、2番目の、… …… n番目の即時インタイムに記録される。ステップ240は、記録されたデータベクトル(各変数はベクトル次元として役立つ)を、ベクトル掛け算(またはマトリクス掛け算)によって1つまたはそれ以上のウェーティングベクトル上にプロジェクトすることを含んでいる。ステップ250は、1つまたはそれ以上のエンドポイント信号をプロットしアップデート(もし必要ならば)する。プロットはインタイムに発展したように図3Aと3Bに示されたのと同様に見える。ステップ260において、エンドポイント信号の検査からエンドポイントが達成されたかどうかが決定される。エンドポイントが達成されていると、次にこの方法はステップ270に進む。エンドポイントが達成されていないと、次にこの方法はエッチングプロセスと測定されたデータのサンプリングを規定の間隔(例えば、各1秒毎に)で継続する。ステップ270において、エンドポイントは達成され、そして、この点において、上方の電極に適用されたRF出力は制御装置9によって遮断され、プラズマは消失し、そしてエッチングプロセスは急速に停止される。本発明は好都合にも、存在するまたは人為的な信号がエンドポイント検知用に目標をセットするのに使用される装置と方法を提供する。更なる利点として、最も関連したエンドポイント信号を有する波長が、エンドポイント信号を決定するのに選択され使用される。さらに本発明は、異なった形状のエンドポイント信号のような幾つかのタイプのエンドポイント信号が使用できる装置と方法とを提供する。目標を変更することによって、異なった信号パターンが抽出できる。

#### 【0060】

本発明はさらに好都合にも、PLS解析を使用する装置と方法とを提供する。PLS解析は、大きな変化を有する信号を抽出するために試みるのみでなく、これらの信号が目標変数と最も相関関係が有ることを見出す。他の方法は、PCAおよび目標を有していない他のファクター解析方法を使用する。PCAによって抽出された信号は、エンドポイント情報を含んでいることもあり、含んでいないこともある。これに対して、本発明のPLS解析は、モデルがマトリクス[Y](すなわち、エンドポイント検知信号)のパターンを習うように仕向ける。PCAは、エンドポイント信号を与えないけれども、PLS解析の使用は、エンドポイント信号を有する直接OESデータに相互関連し、エンドポイントパターンを抽出する可能性を最大にする。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0061】

【図1】本発明の実施例によるエッチングプロセスエンドポイントを検知するためのプラズマエッチングリアクタとエンドポイント検知装置を示す図。

【図2】図1に示されたデバイスを使用して240nmから1000nmで記録された放射スペクトルを示す図。

【図3A】第1のエンドポイント信号 $y_1(t)$ を示す図。

【図3B】第2のエンドポイント信号 $y_2(t)$ を示す図。

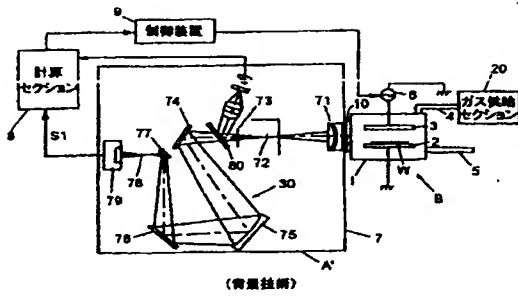
【図4】本発明の実施例の部分最小自乗解析へのデータ入力と対応する出力とを概略的に表わしている図。

【図5】プロジェクションの変数重要度(VIP)の値対可変数の値の例示的プロットを示す図。

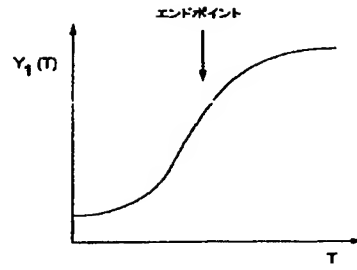
【図6】本発明の実施例による重み係数を決定する方法のフローダイアグラム。

【図7】本発明の実施例によるエッチングプロセスのエンドポイントを監視し検知するための方法のフローダイアグラム。

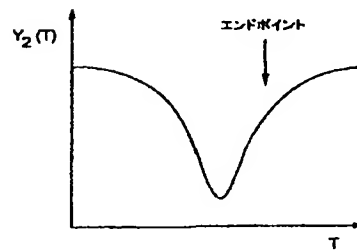
【図 1】



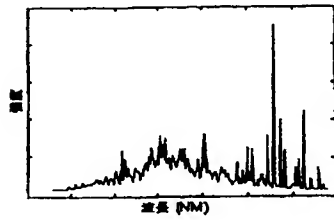
【図 3 A】



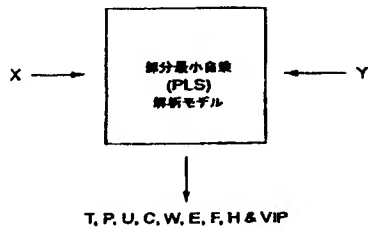
【図 3 B】



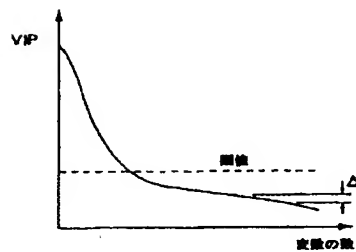
【図 2】



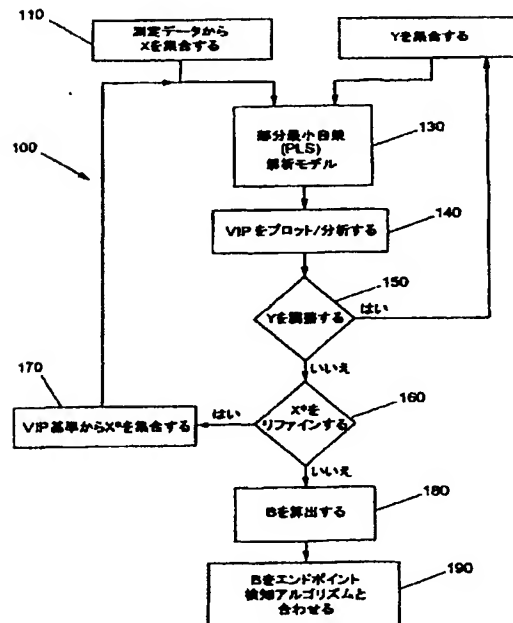
【図 4】



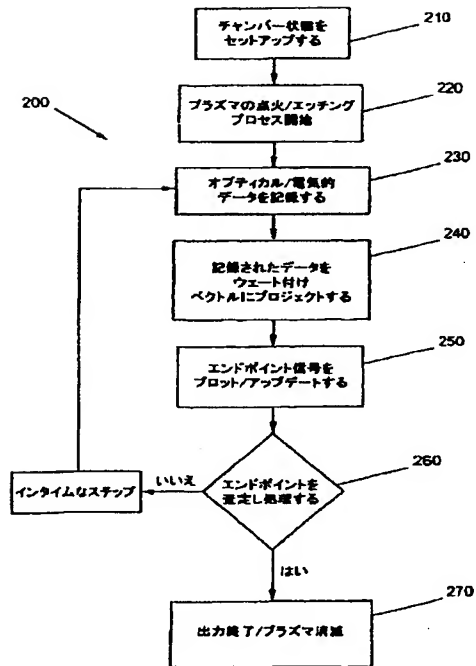
【図 5】



【図 6】



【図 7】



1. **REASON FOR REQUEST:** RECEIVED FROM THE FOLLOWING SOURCE:

**(43) International Publication Date**  
**3 October 2002 (03.10.2002)**

**PCT**

**(10) International Publication Number**  
**WO 02/077589 A2**

(51) International Patent Classification<sup>7</sup>: G01J/457

**(21) International Application Number:** PCT/US02/09073

**(22) International Filing Date:** 25 March 2002 (25.03.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:  
60/277,981 23 March 2001 (23.03.2001) US

(71) **Applicant (for all designated States except US): TOKYO ELECTRON LIMITED [JP/JP];** TBS Broadcast Center, 3-6, Akasaka 5-chome, Minato-ku, Tokyo 107-8481 (JP).

**(71) Applicant and**

(72) **Inventor: FATKE, David** [—/US]; 8000 David Mountain Cove, Austin, TX 78726 (US).

**(72) Inventor; and**

(75) **Inventor/Applicant (for US only):** YUE, Hongyu  
[—US]; 5705 Janabyrd Lane, Austin, TX 78749 (US).

(74) Agent: CASEY, Michael, R.; Oblon, Spivak, McClelland, Maier & Neustadt, P.C., Fourth Floor, 1755 Jefferson Davis Highway, Arlington, VA 22202 (US).

**(81) Designated States (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

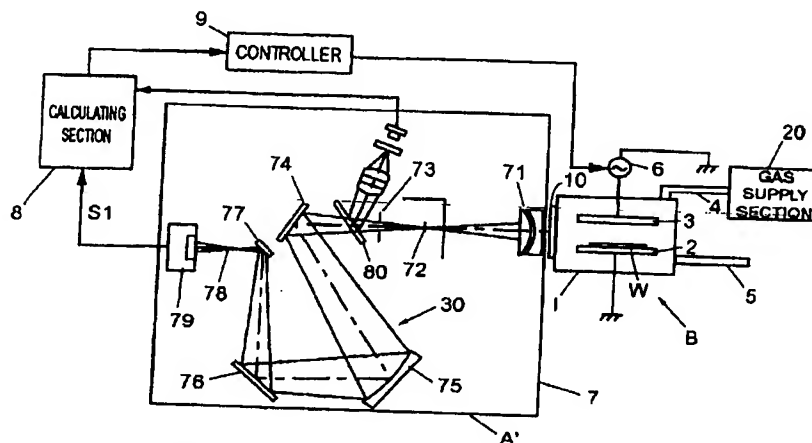
**(84) Designated States (regional):** ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Published:**

— without international search report and to be republished upon receipt of that report

*[Continued on next page]*

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR ENDPOINT DETECTION USING PARTIAL LEAST SQUARES



**(57) Abstract:** An apparatus and method for detection of a feature etch completion within an etching reactor. The method includes determining a correlation matrix by recording first measured data regarding a first etch process over successive time intervals to form a first recorded data matrix, assembling a first endpoint signal matrix using target endpoint data for a specific etch process, performing a partial least squares analysis on the recorded data matrix and the first endpoint signal matrix to refine the recorded data matrix, and computing a correlation matrix based upon the refined recorded data matrix and the first endpoint signal matrix. The method further includes performing a second etch process to form a second recorded data matrix. The correlation matrix and the second recorded data matrix are analyzed to determine whether an endpoint of the second etch process has been achieved.

**WO 02/077589 A2**